

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
16 juillet 2009 (16.07.2009)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2009/087290 A1**

(51) Classification internationale des brevets :  
*H01L 21/762* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2008/001427

(22) Date de dépôt international :  
10 octobre 2008 (10.10.2008)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
0758282 12 octobre 2007 (12.10.2007) FR

(71) Déposant (*pour tous les États désignés sauf US*) : COM-  
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR]; 25,  
rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (*pour US seulement*) :  
**RABAROT, Marc** [FR/FR]; 3, rue Casimir Brenier,  
F-38120 Saint-Egrève (FR). **DUBARRY, Christophe**  
[FR/FR]; 4 Allée du Pré des Morges, F-38640 Claix (FR).  
**MOULET, Jean-Sébastien** [FR/FR]; 55 avenue Alsace  
Lorraine, F-38000 Grenoble (FR). **TAUZIN, Aurélie**  
[FR/FR]; 10 place Salvador Allende, F-38120 Saint  
Egrève (FR).

(74) Mandataire : **SANTARELLI**; 14, Avenue de la Grande-  
Armée, B.P. 237, F-75822 Paris Cedex 17 (FR).

(81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO,  
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG,  
ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD OF FABRICATING A MICROELECTRONIC STRUCTURE INVOLVING MOLECULAR BONDING

(54) Titre : PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UNE STRUCTURE MICRO-ÉLECTRONIQUE IMPLIQUANT UN COLLAGE  
MOLÉCULAIRE

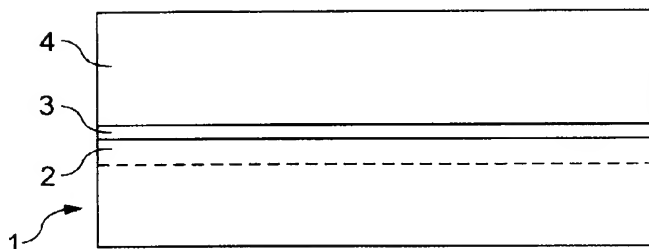


Fig. 3

(57) Abstract: Method of fabricating a microelectronic structure comprising: preparation of a first structure (1) having as surface a first material different from silicon; formation on the surface of this first structure, by IBS (ion beam sputtering), of at least one covering layer (3) with a thickness of less than one micron made of a second material, this layer having a free surface; and molecular bonding of this free surface to one face of a second structure (4), the covering layer constituting a bonding layer for the first and second structures.

(57) Abrégé : Procédé de fabrication d'une structure micro-électronique comportant : la préparation d'une première structure (1) présentant en surface un premier matériau différent du silicium, la formation à la surface de cette première structure, par pulvérisation par faisceau d'ions (IBS), d'au moins une couche de revêtement (3) d'épaisseur inférieure à un micron en un second matériau, cette couche

[Suite sur la page suivante]



WO 2009/087290 A1



IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Déclaration en vertu de la règle 4.17 :**

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)*

**(84) États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,

**Publiée :**

— *avec rapport de recherche internationale*  
— *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues*

Procédé de fabrication d'une structure micro-électronique impliquant  
un collage moléculaire

L'invention concerne un procédé de fabrication d'une structure micro-électronique impliquant un collage moléculaire. Elle vise en particulier, mais non exclusivement, un procédé de fabrication faisant intervenir la formation, le long de l'interface de collage, d'une couche mince.

Ainsi qu'on le sait, une « structure micro-électronique » est un élément, ou un ensemble, réalisé à partir de moyens ou techniques de la micro-électronique et pouvant intervenir notamment dans les procédés de fabrication de composants micro-électroniques et/ou optiques et/ou micro-mécaniques ; une telle structure peut comporter un substrat, par exemple en un matériau semi-conducteur, éventuellement combiné avec une ou plusieurs autres couches ou substrats, en sorte de permettre la formation de ces composants. Ces procédés font souvent intervenir des substrats formés eux-mêmes de plusieurs couches, ce qui explique cette dénomination de structure, même dans le cas d'un substrat unique.

Dans ce domaine de la micro-électronique, il est courant de former des couches minces dont l'épaisseur est typiquement de l'ordre de quelques dixièmes de microns à quelques microns.

C'est ainsi que le procédé connu sous la désignation de « Smart Cut »® permet le détachement d'un film mince vis-à-vis d'un substrat donneur (ou substrat ou structure de départ) et son transfert sur un autre substrat (ou couche) appelé récepteur (il peut y avoir l'intervention d'un substrat récepteur intermédiaire entre le substrat de départ et le substrat récepteur final). Ce procédé est notamment couvert par le brevet US - US-5 374 564 (Bruel) et/ou

ses perfectionnements (on peut se référer notamment au document US – 6 020 252 (Aspar et al.)).

A cet effet, on procède par exemple aux étapes suivantes :

1. bombardement d'une face du substrat donneur avec des ions ou atomes d'une ou plusieurs espèce(s) gazeuse(s) (typiquement de l'hydrogène et/ou un gaz rare, de l'hélium par exemple), afin d'implanter ces ions en une concentration suffisante pour créer une couche dense de micro-cavités formant une couche fragilisée,

2. mise en contact intime de cette face du substrat donneur avec un substrat récepteur, intermédiaire ou final,

3. séparation au niveau de la couche fragilisée de micro-cavités, par l'application d'un traitement thermique et/ou d'une contrainte de détachement entre les deux substrats (par exemple par l'insertion d'une lame entre les deux substrats au niveau de la couche de micro-cavités, et/ou par l'application d'une contrainte de traction et/ou de cisaillement et/ou de flexion, et/ou l'application d'ondes telles que des ultrasons ou de micro-ondes de puissance et de fréquences judicieusement choisies),

4. recyclage du substrat donneur pour de nouveaux cycles comportant les étapes 1 à 3.

Si la couche mince ainsi séparée du substrat donneur a été transférée sur un substrat récepteur intermédiaire, il peut y avoir des étapes ultérieures comportant la mise en contact intime de la face de la couche mince libérée par la séparation d'avec le substrat donneur, avec un substrat récepteur final.

Le substrat (ou structure) peut être (en surface ou dans sa masse) de natures très variées ; il s'agit souvent de silicium, mais il peut aussi s'agir, notamment, d'autres matériaux semi-conducteurs, par exemple ceux du groupe IV de la Table de Mendeleiev, tels que le germanium, le carbure de silicium ou les alliages silicium-germanium, ou encore des matériaux du groupe III-V ou du groupe II-VI (GaN, GaAs, InP, etc...).

Il existe plusieurs procédés pour assurer une liaison efficace entre le substrat donneur et le substrat récepteur, mais le collage moléculaire (aussi

appelé « collage direct » puisqu'il n'y a pas d'apport de matière et donc pas d'interposition d'un quelconque adhésif) est un procédé de liaison particulièrement intéressant, dans la mesure où il est capable en principe d'assurer une très bonne tenue mécanique, une bonne conductivité thermique, une bonne uniformité d'épaisseur de l'interface de collage, etc.

De manière assez classique, le substrat donneur est un substrat de base surmonté par une couche, ou un empilement de couches. C'est ainsi qu'un substrat donneur en silicium est typiquement recouvert d'une couche de silice thermique obtenue par simple traitement thermique de ce substrat donneur.

Un intérêt d'une telle couche d'oxyde thermique, qui se forme facilement sur du silicium, est qu'elle permet l'obtention d'un collage moléculaire de très bonne qualité. Il est donc normal qu'on ait cherché à former, pour d'autres matériaux, de telles couches d'oxyde propres à conduire à un collage moléculaire efficace.

Or certains matériaux, tels que Ge, GaN, LiTaO<sub>3</sub>, LiNbO<sub>3</sub>, etc., qui peuvent aussi être utilisés dans les applications visées, conduisent à des oxydes thermiques qui ne sont pas stables, notamment du point thermique, de sorte qu'il est généralement considéré qu'il est préférable d'éviter leur formation. Toutefois, le matériau du substrat donneur considéré, au moins dans sa partie destinée à donner la couche mince, peut ne pas être lui-même compatible avec un bon collage moléculaire avec le substrat récepteur auquel on veut le mettre en contact intime. Il peut être alors nécessaire de prévoir l'interposition d'au moins une couche dite couche de collage (en référence au type particulier de liaison envisagé). Puisque de telles couches de collage ne peuvent être alors obtenues par simple traitement thermique de la surface du substrat donneur, il faut donc un traitement spécifique de dépôt.

C'est ainsi que, pour les matériaux ne présentant pas d'oxyde stable, on a en général recours au dépôt, sur l'un au moins des substrats à relier, d'une ou plusieurs couches minces (d'épaisseurs typiquement comprises entre quelques dixièmes et quelques centaines de microns) ; ces couches minces sont choisies en sorte, non seulement de permettre un bon collage moléculaire

avec un substrat, mais aussi de présenter une bonne adhérence au substrat sur lequel elles sont déposées.

Or, certains matériaux (ou empilements de matériaux), traités (c'est-à-dire ayant subi des étapes de fabrication de composants, par exemple micro-électroniques) ou non, peuvent ne pas supporter une température supérieure à un seuil critique, typiquement comprise entre 200°C et 700°C selon les matériaux. C'est ainsi que, par exemple, le germanium ne doit pas être porté à une température supérieure à 600°C car il se forme alors un oxyde  $\text{GeO}_x$  qui est instable en température ; on comprend qu'il faut éviter la formation d'un tel oxyde. Il en découle que, lors d'un éventuel dépôt d'une couche de collage, il faut veiller à ne pas atteindre ou dépasser le seuil critique de l'un quelconque des matériaux constitutifs du substrat donneur.

En outre, certains matériaux ne peuvent pas être portés au-delà d'une température limite entre l'étape d'implantation et l'étape de collage, car cela pourrait provoquer un phénomène de cloquage ou d'exfoliation résultant de séparations locales intempestives au niveau de la couche implantée. Un tel risque apparaît, par exemple, à partir de 350°C avec un substrat donneur de GaN et à partir de 150°C avec un substrat donneur de  $\text{LiTaO}_3$ .

Il faut noter ici que, pour obtenir à l'échelle des substrats un bon transfert de films (éventuellement porteurs de circuits) par la technique précitée de report de couche, il est nécessaire que le collage moléculaire concerne la totalité des surfaces en regard des substrats donneur et récepteur ; on parle couramment de collage moléculaire « pleine plaque » (ou « Wafer Bonding » en anglais). On sait obtenir, notamment avec des substrats en silicium, de fortes énergies de collage, typiquement de l'ordre de 1 J/m<sup>2</sup>.

En pratique, la bonne connaissance des phénomènes du collage moléculaire d'une couche d'oxyde thermique de silicium à la surface d'un substrat de silicium, et le haut niveau de ses qualités de liaison, font que ce type de couche sert parfois de référence pour évaluer les performances de collage d'une autre couche servant de couche de collage.

Les critères qui garantissent globalement une bonne aptitude au collage moléculaire (généralement hydrophile) d'une couche de collage sont, en complément de son adhérence sur le substrat sous-jacent :

- une très faible rugosité de surface, homogène sur toute la plaque,
- un taux élevé de liaisons hydrogène généré en surface, qui dépend de la nature du matériau de la couche de collage et du type d'activation éventuellement appliqué à cette couche pour en renforcer les performances au collage,
- un faible taux de particules déposées ou adsorbées en surface, qui sont autant de sites limitant le contact intime entre les surfaces en regard au moment du collage.

Lorsque l'on recherche à effectuer un bon collage, on cherche donc à satisfaire au moins certains des paramètres précités.

Lorsque la rugosité de la couche de collage est trop élevée après son dépôt, il est possible de la réduire pour la rendre compatible avec une forte énergie de collage, par exemple et classiquement au moyen d'un polissage mécano-chimique ; de manière typique, la rugosité recherchée est inférieure ou égale à 0.6 nm RMS en microscopie à force atomique AFM, sur des zones  $1 \times 1 \mu\text{m}^2$  sur du silicium (l'expression AFM désigne ici « Atomic Force Microscope »). Toutefois, cette opération suppose de majorer l'épaisseur déposée d'une valeur égale à celle qui sera ensuite retirée par le polissage pour atteindre la rugosité recherchée. Mais il y a des cas où l'augmentation de l'épaisseur du dépôt n'est pas possible, ou n'est pas souhaitable pour des raisons économiques par exemple. Il existe donc un besoin de pouvoir déposer une couche de collage (un oxyde notamment) ayant dès le dépôt une rugosité faible, voire directement compatible avec une forte énergie de collage, comparable avec celle que l'on obtient avec la référence indiquée ci-dessus, à savoir l'oxyde thermique de silicium.

Les solutions actuellement bien connues de l'homme de l'art pour la formation d'une couche de collage en oxyde consistent à déposer un oxyde par un dépôt chimique en phase vapeur, par exemple assisté par plasma (PECVD ou « Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition »), ou par un dépôt

physique en phase vapeur (PVD ou « Physical Vapor Deposition »). Pour augmenter la densité et l'adhérence de ces dépôts, ceux-ci sont en général réalisés dans une gamme de température de 200°C à 800°C ; or on a vu que certains matériaux peuvent ne pas supporter des traitements à ces températures.

En outre, les oxydes ainsi déposés en vue d'applications de collage moléculaire présentent souvent un certain nombre d'inconvénients.

Le premier inconvénient fréquent est lié à la rugosité importante constatée en surface après un tel dépôt PECVD ou PVD. La valeur de cette rugosité augmente en général avec l'épaisseur de la couche déposée, du moins pour les couches très minces (c'est-à-dire, dans le présent contexte, des couches dont les épaisseurs sont de l'ordre de quelques dizaines de nanomètres). Pour pallier à ce problème on a donc besoin de recourir à des moyens de polissage mécano-chimiques ou de gravure dite « lissante » ; mais, comme indiqué ci-dessus, un tel polissage consomme une partie de l'épaisseur de la couche déposée.

Un deuxième inconvénient fréquent est lié à la faible densité relative des dépôts d'oxyde de type CVD, notamment en comparaison avec l'oxyde thermique de silicium. Or la densité du dépôt garantit souvent une bonne aptitude au collage grâce à un taux élevé de liaisons qui peuvent être activées sur la surface juste avant le collage, et surtout une bonne stabilité thermique lors des recuits ultérieurs, notamment pour des applications à hautes températures (supérieures à 600°C, voire supérieures à 1000°C, pour le dépôt par épitaxie d'une couche de GaN par exemple). En général la solution adoptée est de recuire les couches de collage après le dépôt. Mais cette opération n'est pas toujours possible, soit pour des raisons de compatibilité de température du procédé (comme dans le cas du procédé « Smart Cut ® » vu précédemment, où il faut éviter une séparation intempestive), soit quand les coefficients d'expansion thermique (CTE en abrégé) des différents matériaux en présence sont trop éloignés (avec par exemple un écart de plus de 20% en valeur absolue). Dans ce cas, le recuit génère une mise en tension ou en compression, par exemple, de la couche de collage qui peut, in fine, augmenter



la rugosité et surtout fragiliser l'adhérence et donc minimiser l'aptitude au collage moléculaire. Enfin des dépôts d'oxyde peu denses sont en général instables et peuvent se transformer par changement d'état (cristallisation partielle, fluage, etc.) lors des traitements thermiques ultérieurs. Dans un procédé de report de film, cette dégradation de l'oxyde entraîne une forte défektivité du film transféré et fragilise l'interface de collage pour des applications d'épitaxie par exemple.

Un troisième inconvénient fréquent est relié au taux élevé d'hydrogène incorporé dans les couches d'oxyde CVD, qui est inhérent à ce procédé de dépôt. En général, le taux d'hydrogène est d'autant plus élevé que l'oxyde est déposé à faible température. Lors de recuits postérieurs au dépôt, ces types de couches se transforment généralement (densification) en libérant une partie de l'hydrogène qui peut alors s'accumuler à l'interface de collage avec le substrat sous-jacent et provoquer une défektivité importante. Dans certains cas, l'augmentation de la pression des gaz, accumulés autour des défauts de l'interface, s'oppose aux forces d'adhésion et peut engendrer des forces de décollement catastrophiques qui provoquent la désolidarisation des plaques préalablement collées à température ambiante.

Il résulte de ce qui précède que, pour certaines applications, on ne sait pas déposer sur un substrat, à une température au plus égale à 200 °C, une couche d'oxyde de bonne qualité, en garantissant à la fois une forte adhérence sur le substrat, une faible rugosité après dépôt, une bonne stabilité thermique durant des étapes ultérieures de recuits à haute températures (typiquement au moins égales à 1000°C) et une aptitude satisfaisante au collage direct. Il est donc parfois impossible de déposer des oxydes sur certains types de substrats, formés d'une ou plusieurs couches, processés ou non.

En fait, ce besoin existe non seulement dans le cas où l'on souhaite réaliser des couches d'oxyde, mais aussi plus généralement dans le cas où l'on souhaite déposer sur un substrat une couche, d'oxyde ou non, ayant les propriétés précitées.

L'invention propose à cet effet de tirer profit d'un type particulier de dépôt, notamment d'oxyde, à savoir un dépôt par pulvérisation par faisceau d'ions (« Ion Beam Sputtering » en anglais, ou IBS en abrégé), pouvant être généré à très basse température (typiquement inférieure à 100°C, voire inférieure à 50°C). En effet, les inventeurs ont pu constater qu'une telle couche d'oxyde déposée par pulvérisation IBS présente des propriétés particulièrement intéressantes en vue d'un collage moléculaire ultérieur avec un substrat ; en effet, une telle couche présente une très faible rugosité après dépôt, même dans le cas où la couche déposée a une épaisseur égale voire supérieure à 400nm, et une bonne densité qui lui confère une bonne stabilité thermique (sans qu'il soit nécessaire d'appliquer un traitement ultérieur de recuit de densification) ; en outre, un tel dépôt de couche peut être précédé, dans le même cycle de vide que celui de ce dépôt, par une étape d'attaque de la face réceptrice, favorisant l'adhérence, ou par le dépôt d'autres couches, par exemple une ou plusieurs couches métalliques (Cr, Pt, Al, Ru, Ir, notamment).

Il est rappelé que la pulvérisation par faisceau d'ions (IBS) est une technique de PVD dans laquelle les ions sont produits par une source et accélérés vers le matériau à pulvériser.

Cette technique particulière se distingue des techniques PVD connues pour la réalisation de couches (voir ci-dessus) par le fait qu'elle est réalisée à basse température (par exemple à la température ambiante) tout en assurant une bonne adhérence de la couche déposée. En fait, des techniques d'évaporation peuvent également être réalisées à froid, mais ne permettent pas d'obtenir une telle adhérence.

Les oxydes ainsi déposés sans échauffement par faisceaux d'ions possèdent dès l'étape de dépôt des caractéristiques morphologiques et thermo-chimiques plus proches de celles d'un oxyde thermique de silicium que celles d'un dépôt CVD classique :

- une faible rugosité (inférieure ou égale à celle d'un oxyde thermique),
- une densité élevée (supérieure ou égale à celle des oxydes obtenus par pulvérisation CVD),

- un faible taux intrinsèque de liaisons silanol (à savoir Si-OH), intermédiaire entre celui des oxydes CVD et celui de l'oxyde thermique,
- une adhérence renforcée, grâce à une éventuelle séquence de décapage in situ, réalisée au moyen d'un faisceau d'assistance ionique qui vient frapper préalablement l'interface de dépôt.

Ces propriétés confèrent aux dépôts de type IBS une grande aptitude au collage moléculaire de substrats ou de structures micro-électroniques.

De plus, les oxydes de type IBS (tels que SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, etc.) sont déposés à très faible vitesse (typiquement de l'ordre d'un angström par seconde), proches de celle de l'oxydation thermique du silicium, ce qui autorise un bon contrôle de l'épaisseur déposée (à moins d'un nanomètre près).

A titre d'exemple, les valeurs de rugosités respectives d'un dépôt de 400 nm d'oxyde de silicium réalisé, sur du silicium, par IBS et sous la forme d'un oxyde thermique sont, respectivement, de :

- \* 0,22 nm et 0,25 nm en rugosité RMS, et
- \* 2,02 nm et 2,60 nm en rugosité PV.

Ces valeurs de rugosité ont été mesurées sur des couches d'épaisseur égale à 400 nm, sur un champ de balayage par microscopie à force atomique AFM de 1x1 µm<sup>2</sup> (ces types de rugosité sont bien connus de l'homme de métier ; il est rappelé que RMS correspond à « Root Mean Square » et que PV correspond à « Pick to Valley »).

En fait, il a déjà été proposé de réaliser par IBS des couches en SiO<sub>2</sub>, en TiO<sub>2</sub>, en Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, etc., dans le domaine de l'optique ou de l'optronique, en raison de leurs caractéristiques optiques (épaisseur, indice de réfraction, notamment), liées au fait que cette technologie permet à la fois un bon contrôle de la stoechiométrie et de l'épaisseur des couches déposées (grâce à la vitesse modérée de dépôt). S'agissant du SiO<sub>2</sub>, on peut notamment se référer à l'article « Effect of the working gas of the ion-assisted source on the optical and mechanical properties of SiO<sub>2</sub> films deposited by dual ion beam sputtering with

Si and SiO<sub>2</sub> as the starting materials » de Jean-Yee Wu et Cheng-Chung Lee, dans Applied Optics, Vol 45n N°15, 20 May 2006, pp 35103515.

Toutefois, l'homme de métier n'avait pas encore reconnu que de tels dépôts présentaient des qualités particulières les rendant tout particulièrement intéressants en tant que couche de collage pour un collage moléculaire, par exemple au cours d'un procédé de report de couche.

En effet, comme indiqué ci-dessus, ces couches présentent, à la fois, une faible rugosité de surface même pour des fortes épaisseurs (quelques centaines de nanomètres, soit quelques dixièmes de micron), une forte densité (ou compacité) et une grande stabilité thermique (un faible taux de liaisons hydrogène incorporées dans les couches par rapport aux couches classiques de collage par exemple de type CVD qui permet de réduire les dégazages d'hydrogène durant les recuits, ce qui entraîne une bonne stabilité).

Ainsi, les dépôts IBS présentent, pour une température de dépôt identique voire inférieure, moins de liaisons de type silanol (Si-OH) que les oxydes de type CVD utilisés classiquement comme couche de collage moléculaire. Par ailleurs, les couches IBS pouvant être déposées à faible température (proche de la température ambiante), leur utilisation permet de réaliser des couches de collage moléculaire sur des structures interdisant un échauffement important (par exemple dans le cas d'une structure présentant une interface préalablement implantée et pouvant induire une séparation (cas du procédé « Smart Cut ® »).

La technologie IBS permet de déposer non seulement des oxydes, mais aussi des nitrures, des espèces métalliques, des oxynitrures (notamment SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub>), etc.

L'invention propose ainsi un procédé de fabrication d'une structure micro-électronique, comportant :

- la préparation d'une première structure présentant en surface un premier matériau,
- la formation à la surface de cette première structure, par pulvérisation par faisceau d'ions (IBS), d'au moins une couche de

revêtement en un second matériau, cette couche ayant une surface libre,

- le collage moléculaire de cette surface libre à une face d'une seconde structure.

Il faut préciser que la définition qui précède englobe le cas où, comme cela sera indiqué ci-dessous, au moins une couche sous-jacente est interposée entre la première structure et la couche de revêtement : la couche de revêtement n'est alors pas formée directement sur la surface de la première structure (formée du premier matériau) ; toutefois, puisqu'elle est formée à proximité immédiate de celle-ci, elle est bien située à la surface de cette structure, quoiqu'indirectement au travers d'une ou plusieurs couche(s) sous-jacente(s).

Ainsi que cela a été expliqué ci-dessus, la mise en œuvre de la pulvérisation par faisceau d'ions se fait à basse température et conduit à la formation d'une couche de collage dont les propriétés permettent la réalisation ultérieure d'un collage moléculaire de très bonne qualité.

Ainsi, la mise en œuvre du procédé de l'invention conduit à la formation d'une structure comportant, sur un substrat de départ, au moins une couche mince de type IBS permettant un collage moléculaire du substrat (ou structure) donneur avec un substrat (ou structure) récepteur.

De manière préférée, la formation de la couche de revêtement est réalisée après décapage de la surface de la première structure à l'intérieur de l'enceinte où est réalisé le dépôt par pulvérisation.

De manière avantageuse, on forme en outre une autre couche de revêtement sur la seconde structure avant le collage moléculaire. Cette autre couche de revêtement est de préférence réalisée également par pulvérisation par faisceau d'ions. Cette autre couche de revêtement peut être réalisée dans le même second matériau que la première couche de revêtement, ce qui garantit un bon collage moléculaire.

La mise en œuvre de l'invention se combine avantageusement avec la formation d'une couche mince, c'est-à-dire que l'on implante des ions dans l'une au moins des première et seconde structures en vue d'y former une

couche enterrée de micro-cavités et, après collage moléculaire, on provoque la fracture de cette structure au niveau de cette couche enterrée de micro-cavités.

Il est intéressant de noter que l'étape d'implantation peut être réalisée, soit avant la formation de la couche IBS, soit après cette formation, sans risque de provoquer un bullage et la séparation du film implanté pendant l'étape de dépôt.

Ce second matériau est de préférence un oxyde, de préférence un oxyde de silicium. Plus généralement, la couche de collage est avantageusement composée d'une couche d'oxyde choisi parmi  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{HfO}_2$ , etc.

Selon une autre possibilité intéressante, ce second matériau est un nitrure, par exemple choisi dans le groupe constitué par  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{TiN}$ ,  $\text{WN}$ ,  $\text{CrN}$ .

Une autre possibilité intéressante est que le second matériau soit un oxynitrure, par exemple de silicium. Les proportions relatives d'oxygène et d'azote de l'oxynitrure peuvent être fixes, ou au contraire varier dans l'épaisseur de la couche (pour ce faire, il suffit de faire varier des paramètres de la pulvérisation par faisceau d'ions).

Selon encore une autre possibilité intéressante, le second matériau est un élément métallique ou un alliage métallique, par exemple choisi dans le groupe constitué par  $\text{Cr}$ ,  $\text{Pr}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Ru}$ ,  $\text{Ir}$ .

Selon une variante particulièrement intéressante, on dépose plus d'une couche sur le substrat donneur, c'est-à-dire qu'il y a, sous la couche de revêtement, au moins une couche sous-jacente, avantageusement déposée par pulvérisation par faisceau d'ions. Un cas intéressant est celui où cette couche sous-jacente est réalisée en un matériau métallique ou en un alliage métallique et où la couche de revêtement est en oxyde, ce qui revient à former une électrode enterrée.

La couche de collage est avantageusement amorphe.

Le matériau sur lequel la couche IBS est formée est de préférence un matériau du groupe IV du tableau périodique des éléments, par exemple un matériau semi-conducteur tel que le silicium. Il peut également s'agir d'un

matériau compris parmi les matériaux suivants : le germanium, le nitrure de gallium, l'arséniure de gallium, le tantalate de lithium et le niobate de lithium.

L'épaisseur de la couche de collage d'oxyde IBS est de préférence comprise entre quelques nanomètres et quelques centaines de nanomètres ; l'épaisseur de la couche est en effet avantageusement inférieure à 1 micron, de préférence au plus égale à 600 nanomètres.

La structure ainsi obtenue a en pratique une rugosité inférieure à de l'ordre de 0,25 nm RMS.

Pour favoriser le collage avec le substrat ou la structure de réception, il est avantageux de réaliser une activation de la surface de la couche IBS, par exemple, de manière classique en soi, au moyen d'un polissage mécano-chimique ou d'un traitement en UV-ozone, ou via un plasma réactif.

On appréciera que, en d'autres termes, l'invention propose ainsi un procédé de fabrication d'une structure micro-électronique (on utilise aussi, parfois, l'expression « micro-technologique ») par collage moléculaire d'une première structure et d'une seconde structure, dans lequel on forme, à la surface d'au moins l'une des deux structures, une couche de collage d'épaisseur inférieure à un micron, de préférence inférieure à 600 nm, par pulvérisation par faisceau d'ions.

De préférence, cette couche de collage est un oxyde, un nitrure ou un oxynitrure d'un élément différent de celui dont la structure sous-jacente est constituée ; cette structure sous-jacente est avantageusement constituée d'un matériau différent du silicium, n'ayant pas d'oxyde thermique stable, tel que, notamment, le germanium, le nitrure de gallium, l'arséniure de gallium, le tantalate de lithium et le niobate de lithium, tandis que la couche de collage comporte de préférence de l'oxyde de silicium. Cette couche de collage peut être séparée de cette structure sous-jacente par une couche métallique, avantageusement déposée, aussi, par pulvérisation par faisceau d'ions.

Cette couche de collage est avantageusement un isolant électrique et le collage moléculaire est avantageusement suivi d'une étape de fracture, à une température au plus égale à 400°C, de préférence au plus égale à 200°C, au niveau d'une couche de micro-cavités résultant d'une étape préalable

d'implantation d'ions dans l'autre des structures en sorte de former une structure de type semiconducteur sur isolant.

On peut noter que l'utilisation de la pulvérisation par faisceau d'ions est mentionnée, de manière fortuite, dans le document US – 2007/0017438, pour la formation d'une couche de mise en contrainte tangentielle d'îlots sous-jacents, à propos d'un alliage Si-W, mais que, pour assurer une telle mise en contrainte, cette couche est très épaisse (entre plusieurs microns et plusieurs millimètres), de manière à éviter tout phénomène d'ondulation ; cela est foncièrement différent de la formation d'un mince revêtement (inférieur à un micron), destiné à servir de couche de collage ou d'accrochage pour permettre un bon collage moléculaire entre deux structures qui, sinon, ne pourraient pas être collées efficacement de manière moléculaire. En outre, puisque l'enseignement de ce document est de former une couche qui est le siège d'une contrainte tangentielle, ce document était a priori incompatible avec le problème technique à la base de l'invention consistant à obtenir une très bonne qualité de collage moléculaire sur une grande surface de collage ; on comprend en effet que l'existence d'une contrainte tangentielle à une interface tend à fragiliser celle-ci.

Ainsi, alors que, dans le cadre de l'invention, la couche IBS est une couche de collage qui, de ce fait, a normalement vocation à être enterrée, la couche de mise sans contrainte proposée par le document précité est uniquement destinée à être libérée en tant que couche de surface, puis gravée et chauffée afin de modifier le niveau de contrainte des îlots sous-jacents.

Des objets, caractéristiques et avantages de l'invention ressortent de la description qui suit, donnée à titre d'exemple illustratif non limitatif, en regard des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue en coupe d'un substrat donneur en cours d'implantation en vue de former une couche fragilisée,
- la figure 2 est une vue en coupe de ce substrat après dépôt d'une couche par pulvérisation par faisceau d'ions,
- la figure 3 en est une vue après collage moléculaire,



- la figure 4 en est une vue après séparation au niveau de la couche fragilisée,
- la figure 5 est une vue du reste du substrat donneur, prêt pour un nouveau cycle, et
- la figure 6 est un schéma de principe d'une installation de dépôt par pulvérisation par faisceau d'ions.

Les figures 1 à 5 représentent un exemple de procédé mettant en œuvre l'invention.

Ce procédé comporte les étapes suivantes :

- préparation d'un substrat 1 constituant une première structure présentant, au moins en surface (ou à proximité immédiate de celle-ci si une couche fine y est déposée), un premier matériau,
- bombardement d'une face 1A de ce substrat avec des ions (ou atomes) afin d'implanter ces ions (ou atomes) pour créer une couche enterrée de micro-cavités 1B définissant avec la surface 1A la future couche mince 2 – voir la figure 1,
- dépôt sur la surface de la première structure d'une couche d'oxyde 3 par pulvérisation par faisceau d'ions, à basse température – voir la figure 2,
- collage d'un substrat récepteur 4 formant une seconde structure, par collage moléculaire – voir la figure 3,
- fracture au niveau de la couche enterrée de microcavités 1B, en sorte de séparer la couche 2 vis-à-vis du reste 1' du substrat donneur, par l'application d'un traitement thermique et/ou d'une contrainte de détachement (par exemple, l'application d'ultrasons ou de micro-ondes de puissance et de fréquence appropriées, ou l'application d'un outil, etc.) – voir la figure 4, et
- recyclage du reste 1' du substrat donneur, après éventuel polissage (zone hachurée) – voir la figure 5.

Il va de soi que les ondulations représentées aux figures 4 et 5 sont tout à fait exagérées, ne visant qu'à permettre de comprendre l'intérêt d'un éventuel polissage.

Ce procédé comporte ainsi, dans un cas de transfert de couche (référence 2) depuis un substrat donneur (ou première structure) 1 vers un substrat récepteur (ou seconde structure) 4, une étape consistant en un dépôt d'oxyde 3, d'épaisseur contrôlée de quelques nanomètres à quelques dixièmes de microns, par IBS.

Ce dépôt est réalisé à « froid », c'est-à-dire à une température inférieure à 100 °C, typiquement vers 40 °C (cette température correspond à la température superficielle du substrat du fait du dépôt), voire à la température ambiante. Ce dépôt peut donc être réalisé sur tout substrat, traité ou non, sans risque de dégradation du résultat des étapes antérieures ou des propriétés de la surface du substrat donneur.

Cette couche 3 déposée par pulvérisation IBS a, dans l'exemple des figures 1 à 5, la fonction principale d'être une couche de collage. Toutefois, elle peut avoir, en plus, d'autres fonctions telles que, notamment :

- couche électriquement ou thermiquement isolante,
- couche sacrificielle (par exemple pour la réalisation de micro-systèmes tels que capteurs d'accélération ou de pression, etc.),
- couche miroir ou filtre optique (possibilité d'introduire une fonction optique par un empilement de couches de différentes natures et/ou épaisseurs),
- couche (ou empilement de couches) servant à la compensation de contraintes mécaniques d'origine quelconque,
- électrode enterrée (par exemple une couche métallique entre un substrat et une couche d'oxyde),
- couche barrière (par exemple en nitrure tel que TiN, WN, etc.).

Le matériau constitutif de la couche déposée par pulvérisation IBS est ainsi un oxyde (lors de la réalisation d'une couche de collage), mais peut donc être en variante un nitrure, un oxynitrure, un élément ou un alliage métallique, etc.

Il faut noter qu'il n'est pas nécessaire de procéder à un traitement de densification des oxydes IBS puisqu'ils sont déjà très denses, dès le dépôt, avec une densité compatible avec un collage de très bonne qualité.

En variante, le dépôt de la couche IBS a lieu avant l'implantation.

Avantageusement, un nettoyage est réalisé dans la chambre de dépôt IBS, avant le dépôt, en sorte de préparer la surface du substrat donneur, et ainsi améliorer l'adhérence de la couche déposée sur la surface de ce substrat. Un tel nettoyage peut en effet consister en un bombardement de la surface par des ions neutres, tels que de l'argon ou du xénon (on peut qualifier cette préparation de décapage).

Cette pulvérisation par faisceau d'ions peut être réalisée de plusieurs manières spécifiques, selon d'éventuelles particularités intervenant lors de sa mise en œuvre ; on connaît ainsi la technologie RIBS (ou « Reactive IBS »), mais d'autres variantes peuvent être utilisées.

On peut en particulier mettre en œuvre la technologie DIBS (« Dual IBS »), qui fait en outre intervenir un faisceau d'assistance, qui permet d'augmenter la compacité des couches mais aussi de contrôler la stoechiométrie de la couche au cours du dépôt, en jouant éventuellement sur un apport gazeux supplémentaire (par exemple de l'oxygène, dans le cas d'un dépôt d'oxyde).

La figure 6 est un schéma de principe d'une installation adaptée à la mise en œuvre de cette technologie DIBS, dans le cas, à titre d'exemple, de la formation d'un revêtement d'oxyde silicium sur un ensemble de substrats.

Dans une enceinte 10 sous vide sont disposés (les valeurs numériques correspondent, à titre d'exemple, au cas d'une installation de type OXFORD 500) :

- une source d'ions (source de pulvérisation) 11 qui génère un faisceau 12 d'ions mono-énergétiques (typiquement entre 500 et 1500 eV) positifs, défini spatialement. Le faisceau, ici formé d'ions argon, bombarde une cible 13 constituée du matériau à déposer (dans le cas considéré, du SiO<sub>2</sub>). Les espèces pulvérisées sont émises dans le demi-espace situé face à la cible

et viennent se condenser sur les substrats 14 (ici portés par un support planétaire 14A) pour former la couche de revêtement 3 de la figure 2 (non représentée sur cette figure 6),

- une source d'assistance 15 émettant des ions de plus faible énergie (typiquement de 50 à 100 eV), selon un faisceau 16 qui a pour but d'augmenter la compacité des couches déposées sur les substrats mais aussi de contrôler la stoechiométrie de ces couches minces en cours de dépôt (dans ce cas, il est possible de substituer tout ou partie du flux de gaz neutre ionisé de la source 15 par de l'oxygène ou un autre gaz réactif avec la couche en cours de formation) ; cette source d'assistance peut aussi être employée comme source de flux de décapage des substrats avant de commencer le dépôt proprement dit.

Le pompage de la chambre de dépôt est avantageusement de type « sec », pour éviter toute contamination particulaire et organique : le vide limite est typiquement de  $2.10^8$  Torr.

Des couches d'épaisseur typique de 0.1 à 1 micron peuvent être réalisées avec, ou sans, source d'assistance. En fait, cette source d'assistance est avantageusement uniquement utilisée pour le décapage de la surface des substrats, pendant 5 minutes, par exemple. Comme indiqué ci-dessus, le gaz neutre peut être de l'argon ou du xénon.

Un exemple de conditions opératoires de l'appareil OXFORD 500 mentionné ci-dessus est défini comme suit :

- canon de dépôt (xénon) : tension de 1000V, intensité de 100mA, et débit de 2.1 sccm (c'est-à-dire  $2.1 \text{ cm}^3$  standards par minute (« standard cubic centimeter per minute »),
- canon d'assistance (xénon) : tension de 200V, intensité de 20mA, et débit de 6 sccm,
- ajout d'un débit de 4 sccm d'oxygène directement dans l'enceinte.

Il peut être rappelé ici que la technologie IBS correspond à des vitesses de dépôt très faibles (typiquement de l'ordre d'un angström par seconde, à comparer à des vitesses de dépôt de l'ordre de 100 à 1000

angströms par seconde dans le cas des technologies PECVD ou LPCVD), ce qui contribue à leur densité élevée.

Une manière d'évaluer la densité d'un revêtement de faible épaisseur est d'en mesurer la vitesse de gravure chimique (la densité d'un revêtement est inversement proportionnelle à cette vitesse).

Les vitesses de gravure de différents types d'oxydes  $\text{SiO}_2$  sont indiquées ci-dessous pour diverses conditions :

- thermique (dépôt à 1100°C) : vitesse de 850 angströms/mn
- IBS (dépôt à moins de 100 °C) : vitesse de 1050 angströms/mn
- PECVD LF (dépôt vers 300 °C) : vitesse de 1600 angströms/mn,
- LPCVD (HTO DCS) (dépôt vers 900 °C) : vitesse de 1550 angströms/mn.

Il est rappelé que :

- LF signifie « Low Frequency », et
- HTO DCS signifie « High Temperature Oxyde DiChloroSiloXane »).

On peut noter que la vitesse de gravure du revêtement obtenu par pulvérisation IBS est à peine supérieure à celle de l'oxyde thermique, de sorte que sa densité est à peine inférieure à celle de cet oxyde thermique. On observe, par contre, que la vitesse de gravure de ce revêtement IBS est sensiblement inférieure à celle de revêtements obtenus par les techniques de type CVD, et que donc sa densité est sensiblement plus élevée.

Les oxydes déposés par IBS permettent donc une qualité de collage comparable à celle d'un oxyde thermique, même lorsqu'il ne s'agit pas de l'oxyde du matériau constitutif du substrat porteur, avec l'avantage d'être réalisés à très basse température, donc d'être compatibles avec tout type de substrat, notamment traité.

Lorsqu'on applique un traitement thermique à haute température sur la structure collée obtenue après séparation (formée du substrat récepteur, de la couche d'oxyde et de la couche mince séparée vis-à-vis du reste du substrat donneur), on assiste souvent à des décollements, des soulèvements, voire des arrachements locaux de la couche mince transférée, par dégazage ou

transformation de la couche d'oxyde lorsque celle-ci n'est pas assez dense (cas du dépôt PECVD ou LPCVD). Mais cet inconvénient n'est pas apparu pour les dépôts IBS, dont la forte densité leur confère un excellent comportement à haute température et permet ainsi de diminuer la défektivité finale des structures.

Dans l'exemple des figures 1 à 5, l'implantation a lieu dans la première structure ; en variante, cette implantation a lieu dans la seconde structure (il peut même y avoir une implantation dans les deux structures).

Par ailleurs, dans cet exemple, la couche de revêtement est formée sur la surface de cette première structure, et ce de manière directe (donc directement sur la partie de ce substrat présentant en surface le premier matériau) ; en variante, cette couche de revêtement est réalisée sur la seconde structure ; cette couche de revêtement peut aussi être déposée indirectement à la surface de cette première ou seconde structure, sur une sous-couche (ou couche sous-jacente), formée sur la surface de cette structure (éventuellement, elle aussi, par pulvérisation par faisceau d'ions). Il peut aussi y avoir une couche de revêtement sur chacune des deux structures.

Des exemples d'application de l'invention sont donnés ci-dessous

### **Exemple 1**

Un substrat en GaN ( $^{70}\text{Ga}^{14}\text{N}$ ) cristallin est implanté avec des ions H dans les conditions suivantes :

- énergie : 60 keV,
- dose :  $3.5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ .

Une couche de  $\text{SiO}_2$ , d'épaisseur comprise entre 500 nm et 1 micron est ensuite déposée par pulvérisation IBS sur le substrat implanté. Préalablement à l'étape proprement dite de dépôt, le substrat GaN est nettoyé, in situ (dans l'enceinte de dépôt IBS), par une étape de décapage pendant 5 mn.

Le substrat GaN portant la couche d'oxyde est ensuite collé par adhésion moléculaire sur un substrat en saphir. Pour cela, on effectue, à titre

d'exemple, un polissage mécano-chimique de la couche d'oxyde, puis un brossage et un rinçage des plaques à coller.

En variante, on réalise un traitement plasma sur la surface de la couche d'oxyde, par exemple un plasma  $O_2$ .

On provoque ensuite la fracture au niveau de la couche implantée, par un traitement thermique dans la gamme de 200 °C à 400 °C. On obtient ainsi une structure GaN/SiO<sub>2</sub>/Saphir stable, qui peut être utilisée, par exemple, pour la réalisation de diodes électroluminescentes (LED). En effet, la couche d'oxyde obtenue par IBS est, de par sa densité, tout à fait adaptée à une étape ultérieure d'épithaxie à haute température (typiquement entre 1000 °C et 1100 °C) pour former les couches actives des diodes LED.

### **Exemple 2**

On part d'un substrat donneur LiTaO<sub>3</sub> cristallin.

Une couche de SiO<sub>2</sub>, d'épaisseur 100 nm, est ensuite déposée par pulvérisation IBS sur ce substrat donneur (après nettoyage in situ par une étape de décapage pendant 5 mn).

C'est ensuite que le substrat LiTaO<sub>3</sub> est implanté, à travers la couche d'oxyde, avec des ions H dans les conditions suivantes :

- énergie : 60 keV,
- dose :  $8 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ .

Le substrat LiTaO<sub>3</sub>, avec la couche d'oxyde, est ensuite collée par adhésion moléculaire sur un substrat en LiTaO<sub>3</sub>, recouvert d'une couche de collage en chrome. Le collage est par exemple réalisé par un nettoyage chimique, par un bain dit « Caro » (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).

La fracture est ensuite provoquée au niveau de la couche implantée, par un traitement thermique de 150 °C – 1h. On obtient ainsi une structure LiTaO<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>/Cr/LiTaO<sub>3</sub> qui peut, par exemple, être utilisée pour la réalisation de mémoires ferroélectriques.

### **Exemple 3**

On part d'un substrat en germanium.

Une couche de SiO<sub>2</sub>, d'épaisseur 300 nm, est ensuite déposée par IBS sur le substrat donneur. Avant le dépôt, le substrat est nettoyé in situ par une étape de décapage pendant 56 mn.

Le substrat est ensuite implanté, à travers la couche d'oxyde, avec des ions H dans les conditions suivantes :

- énergie : 80 keV,
- dose :  $6 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ .

Le substrat, avec la couche d'oxyde, est ensuite collé par adhésion moléculaire sur un substrat de silicium recouvert d'une couche d'oxyde thermique. Pour cela, on peut par exemple effectuer un polissage mécano-chimique de la couche d'oxyde, suivi d'un brossage et d'un rinçage des plaques.

La fracture est ensuite provoquée au niveau de la couche implantée, par un traitement thermique de 330 °C – 1 h. On obtient ainsi une structure Ge/SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si, qui peut aussi être désignée par GeOI (Germanium sur isolant ou « Ge On Insulator ») qui peut être utilisée par exemple pour la réalisation de composants micro-électroniques.

#### **Exemple 4**

On part d'un substrat de LiTaO<sub>3</sub> dans lequel on plante : des ions H dans les conditions suivantes :

- énergie : 60 keV,
- dose :  $8 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ , et

des ions He dans les conditions suivantes :

- énergie : 100 keV,
- dose :  $5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ .

On dépose ensuite, par pulvérisation IBS, une couche de chrome (ou, en variante, de platine) de 100 nm d'épaisseur, et une éventuelle couche de SiO<sub>2</sub> de 200 nm d'épaisseur.

On colle, par adhésion moléculaire, ce substrat à un autre substrat en LiTaO<sub>3</sub>, sur lequel on a préalablement déposé, par pulvérisation IBS, une



couche de  $\text{SiO}_2$  de 400 nm, en procédant à un polissage mécano-chimique et à un brossage.

On provoque la fracture à une température inférieure à 200 °C, par exemple par application de contraintes mécaniques. On obtient ainsi une structure  $\text{LiTaO}_3$ /électrode/isolant/ $\text{LiTaO}_3$ .

On peut éventuellement déposer un revêtement sur la surface libre, et procéder à un polissage.

### **Exemple 5**

On part d'un substrat donneur en  $\text{LiNbO}_3$ .

On plante, dans ce substrat, des ions He dans les conditions suivantes :

- énergie : 250 keV,
- dose :  $3 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ .

On dépose ensuite, par pulvérisation IBS, une couche de  $\text{SiO}_2$  de 600 nm d'épaisseur.

On colle, par adhésion moléculaire, ce substrat recouvert de  $\text{SiO}_2$ , à un second substrat de silicium, recouvert d'une couche de 600nm de  $\text{SiO}_2$  également par pulvérisation IBS.

On provoque la fracture au niveau de la couche implantée et obtient une structure  $\text{Si/SiO}_2/\text{LiNbO}_3$ , qui comporte donc une couche d'isolant enterrée.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une structure micro-électronique comportant :

- la préparation d'une première structure (1) présentant en surface un premier matériau différent du silicium,
- la formation à la surface de cette première structure, par pulvérisation par faisceau d'ions (IBS), d'au moins une couche de revêtement (3) d'épaisseur inférieure à un micron en un second matériau, cette couche ayant une surface libre,
- le collage moléculaire de cette surface libre à une face d'une seconde structure (4), la couche de revêtement constituant, pour les première et seconde structures, une couche de collage.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la formation de la couche de revêtement est réalisée après décapage de la surface de la première structure à l'intérieur d'une même enceinte que pour le dépôt par pulvérisation par faisceau d'ions.

3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que l'on forme en outre une autre couche de revêtement sur la seconde structure avant le collage moléculaire.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que cette autre couche de revêtement est réalisée par pulvérisation par faisceau d'ions.

5. Procédé selon la revendication 3 ou la revendication 4, caractérisée en ce que cette autre couche de revêtement est réalisée dans le même second matériau que la première couche de revêtement.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'on plante des ions dans l'une au moins des première et seconde structures en vue d'y former une couche enterrée de micro-cavités et, après collage moléculaire, on provoque la fracture de cette structure au niveau de cette couche enterrée de micro-cavités à une température inférieure à 400°C.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le second matériau est un oxyde.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que le second matériau est un oxyde de silicium.

9. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'oxyde est choisi dans le groupe constitué par  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{HfO}_2$ .

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le second matériau est un nitrure.

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisée en ce que le second matériau est choisi dans le groupe constitué par  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{TiN}$ ,  $\text{WN}$ ,  $\text{CrN}$ .

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le second matériau est un élément métallique ou un alliage métallique.

13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que le second matériau est choisi dans le groupe constitué par  $\text{Cr}$ ,  $\text{Pt}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Ru}$ ,  $\text{Ir}$ .

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le second matériau est un oxynitrure de silicium.

15. Procédé selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'on fait varier les proportions relatives d'oxygène et d'azote dans l'épaisseur de la couche.

16. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que, avant de déposer la couche de revêtement, on dépose en outre, par pulvérisation par faisceau d'ions, au moins une couche sous-jacente.

17. Procédé selon la revendication 16, caractérisé en ce que la couche sous-jacente est réalisée en un matériau métallique ou en un alliage métallique, et la couche de revêtement est un oxyde.

18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, caractérisée en ce que la couche de revêtement est amorphe.

19. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 18, caractérisé en ce que le premier matériau est un matériau semiconducteur.

20. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 18, caractérisé en ce que le premier matériau est un matériau du groupe constitué par le germanium, le nitrure de gallium, l'arséniure de gallium, le tantalate de lithium et le niobate de lithium.

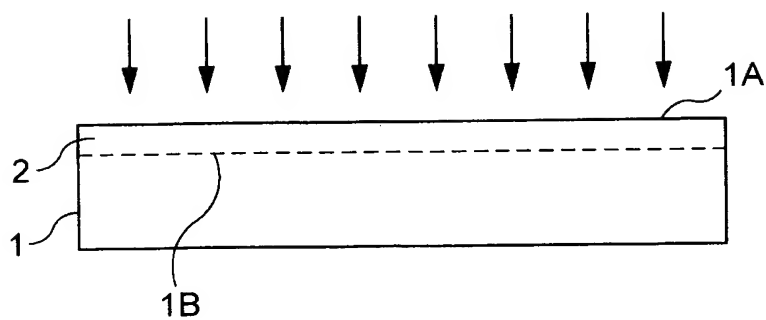


Fig. 1

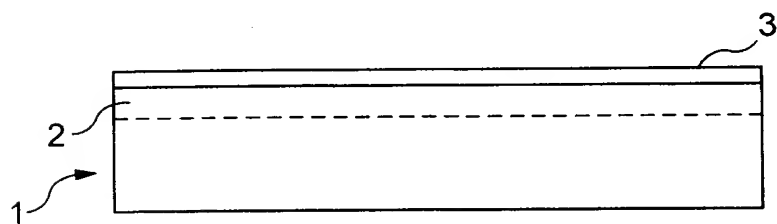


Fig. 2

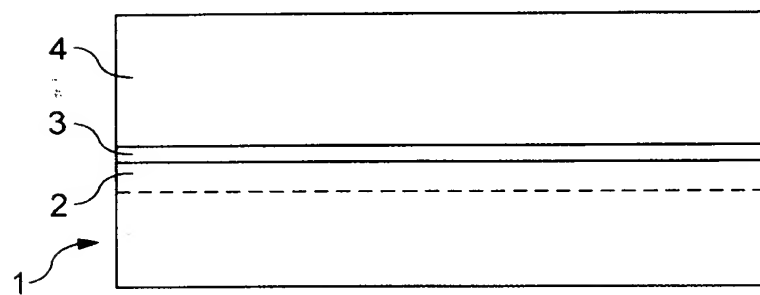


Fig. 3

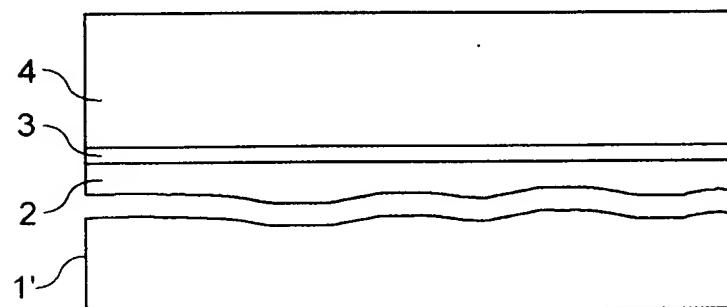


Fig. 4

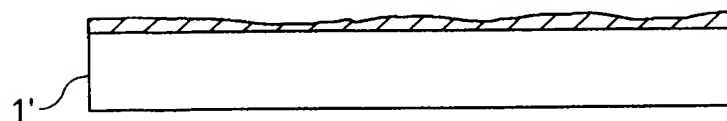


Fig. 5

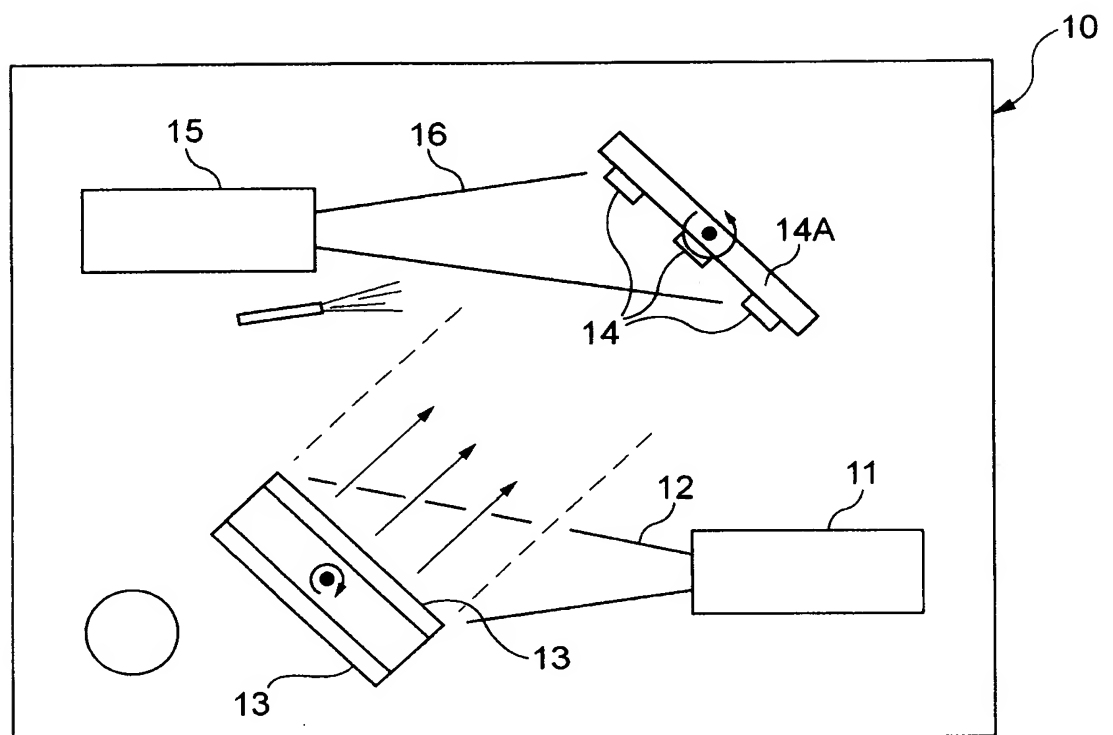


Fig. 6

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2008/001427

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H01L21/762

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2004/235266 A1 (TONG QIN-YI [US]) 25 November 2004 (2004-11-25) page 2, paragraph 42	1-20
Y	WU J-Y ET AL: "EFFECT OF THE WORKING GAS OF THE ION-ASSISTED SOURCE ON THE OPTICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SiO <sub>2</sub> FILMS DEPOSITED BY DUAL ION BEAM SPUTTERING WITH SI AND SiO <sub>2</sub> AS THE STARTING MATERIALS" APPLIED OPTICS, OSA, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC, vol. 45, no. 15, 20 May 2006 (2006-05-20), pages 3510-3515, XP001242714 ISSN: 0003-6935 abstract page 3510, left-hand column, paragraph 1 page 3514, right-hand column, lines 4-13 ----- -/--	1-20

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \* & \* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 juin 2009

Date of mailing of the international search report

01/07/2009

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Ekoué, Adamah

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2008/001427

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2007/017438 A1 (XIE YA-HONG [US] ET AL) 25 January 2007 (2007-01-25) page 2, paragraph 29 page 3, paragraph 38 - page 4, paragraph 42 figures 2A-2E -----	1-20
A	RAY S. K. ET AL.: "Effect of reactive-ion bombardment on the properties of silicon nitride and oxynitride films deposited by ion-beam sputtering" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, vol. 75, no. 12, 15 June 1994 (1994-06-15), pages 8145-8152, XP002484791 abstract figure 1 -----	1-20
A	US 6 548 375 B1 (DE LOS SANTOS HECTOR J [US] ET AL) 15 April 2003 (2003-04-15) column 3, lines 53-59 -----	1-20
A	US 5 753 038 A (VICHR MIROSLAV [US] ET AL) 19 May 1998 (1998-05-19) column 10, lines 18-29 -----	1-20
A	MOTOHIRO T ET AL: "GEOMETRICAL FACTORS OF ARGON INCORPORATION IN SiO <sub>2</sub> FILMS DEPOSITED BY ION BEAM SPUTTERING" THIN SOLID FILMS, ELSEVIER-SEQUOIA S.A. LAUSANNE, CH, vol. 120, no. 4, 1 October 1984 (1984-10-01), pages 313-327, XP000837083 ISSN: 0040-6090 abstract -----	1-20



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No  
PCT/FR2008/001427

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2004235266	A1	25-11-2004	CA 2526481 A1 02-12-2004
			CN 1860590 A 08-11-2006
			CN 101359605 A 04-02-2009
			EP 1631981 A2 08-03-2006
			JP 2007515779 T 14-06-2007
			KR 20060028391 A 29-03-2006
			US 2006216904 A1 28-09-2006
			US 2008187757 A1 07-08-2008
			WO 2004105084 A2 02-12-2004
US 2007017438	A1	25-01-2007	NONE
US 6548375	B1	15-04-2003	US 2003082886 A1 01-05-2003
US 5753038	A	19-05-1998	NONE

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2008/001427

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
INV. H01L21/762

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
H01L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 2004/235266 A1 (TONG QIN-YI [US]) 25 novembre 2004 (2004-11-25) page 2, alinéa 42	1-20
Y	WU J-Y ET AL: "EFFECT OF THE WORKING GAS OF THE ION-ASSISTED SOURCE ON THE OPTICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SiO2 FILMS DEPOSITED BY DUAL ION BEAM SPUTTERING WITH SI AND SiO2 AS THE STARTING MATERIALS" APPLIED OPTICS, OSA, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC, vol. 45, no. 15, 20 mai 2006 (2006-05-20), pages 3510-3515, XP001242714 ISSN: 0003-6935 abrégé page 3510, colonne de gauche, alinéa 1 page 3514, colonne de droite, ligne 4-13 ----- -/--	1-20

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*S\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

23 juin 2009

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

01/07/2009

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Ekoué, Adamah

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°  
PCT/FR2008/001427

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2007/017438 A1 (XIE YA-HONG [US] ET AL) 25 janvier 2007 (2007-01-25) page 2, alinéa 29 page 3, alinéa 38 - page 4, alinéa 42 figures 2A-2E -----	1-20
A	RAY S. K. ET AL.: "Effect of reactive-ion bombardment on the properties of silicon nitride and oxynitride films deposited by ion-beam sputtering" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, vol. 75, no. 12, 15 juin 1994 (1994-06-15), pages 8145-8152, XP002484791 abrégé figure 1 -----	1-20
A	US 6 548 375 B1 (DE LOS SANTOS HECTOR J [US] ET AL) 15 avril 2003 (2003-04-15) colonne 3, ligne 53-59 -----	1-20
A	US 5 753 038 A (VICHR MIROSLAV [US] ET AL) 19 mai 1998 (1998-05-19) colonne 10, ligne 18-29 -----	1-20
A	MOTOHIRO T ET AL: "GEOMETRICAL FACTORS OF ARGON INCORPORATION IN SiO2 FILMS DEPOSITED BY ION BEAM SPUTTERING" THIN SOLID FILMS, ELSEVIER-SEQUOIA S.A. LAUSANNE, CH, vol. 120, no. 4, 1 octobre 1984 (1984-10-01), pages 313-327, XP000837083 ISSN: 0040-6090 abrégé -----	1-20

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2008/001427

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2004235266	A1	25-11-2004	CA 2526481 A1 02-12-2004
			CN 1860590 A 08-11-2006
			CN 101359605 A 04-02-2009
			EP 1631981 A2 08-03-2006
			JP 2007515779 T 14-06-2007
			KR 20060028391 A 29-03-2006
			US 2006216904 A1 28-09-2006
			US 2008187757 A1 07-08-2008
			WO 2004105084 A2 02-12-2004
US 2007017438	A1	25-01-2007	AUCUN
US 6548375	B1	15-04-2003	US 2003082886 A1 01-05-2003
US 5753038	A	19-05-1998	AUCUN